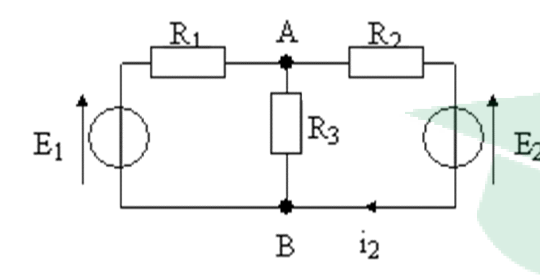
Table des matières

Chapitre 2

Exercices d'acquisition

Théorème de Thévenin.

Objectif: *Mettre en œuvre le théorème de Thévenin. Appliquer la formule du pont diviseur de tension .*



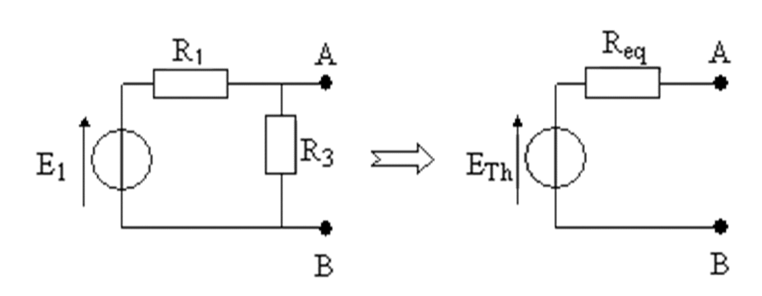
.

On veut exprimer le courant i_2 en fonction des éléments du montage. Pour ce faire, on peut remplacer tout le montage par un schéma plus simple, **sauf la branche qui contient i_2** :

a) Calculer le schéma équivalent de Thévenin du dipôle AB (constitué de E_1, R_1 et R_3). (Penser au pont diviseur de tension...).

$E_1 = 10$ V, $E_2 = 5$ V

$R_1 = 15\ \Omega, R_2 = 10\ \Omega, R_3 = 5\ \Omega$

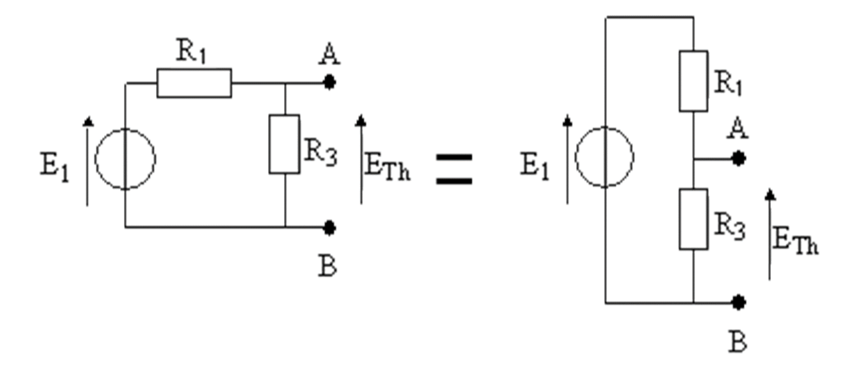


Aide :

Il est souvent utile d'isoler la partie de schéma qu'on veut remplacer par son « schéma équivalent de Thévenin » (Ici l'ensemble E_1, R_1 et R_3).

Il faut ensuite se rappeler des définitions de la tension équivalentes de Thévenin (E_{Th}) et de la résistance équivalentes (R_{eq})

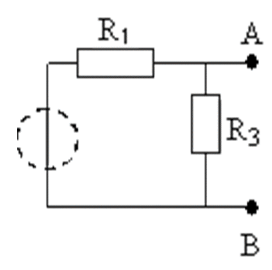
Corrigé :



Les deux schémas ci-contre sont identiques.

On reconnaît un pont diviseur de tension.

On en déduit donc que $E_{Th} = \frac{E_1 . R_3}{R_1 + R_3}$

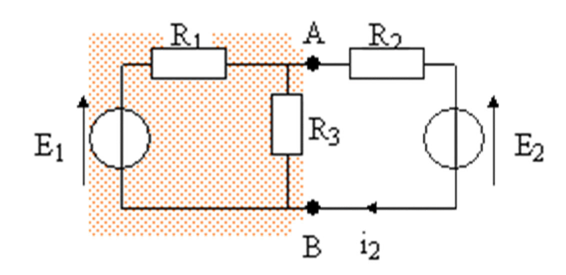


Lorsque E_1 est remplacé par sa « résistance interne » (Pour une source de tension, c'est une résistance nulle), on reconnaît, entre les bornes A et B, deux résistances en parallèle.

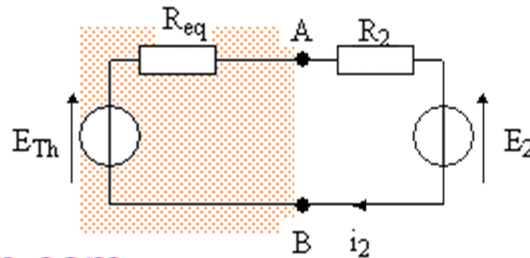
Donc : $R_{eq} = \left(R_1^{-1} + R_3^{-1}\right)^{-1}$

b) Après avoir remplacé E_1, R_1 et R_3 par ce dipôle équivalent, en déduire la valeur de i_2 par la loi des mailles.

Corrigé :



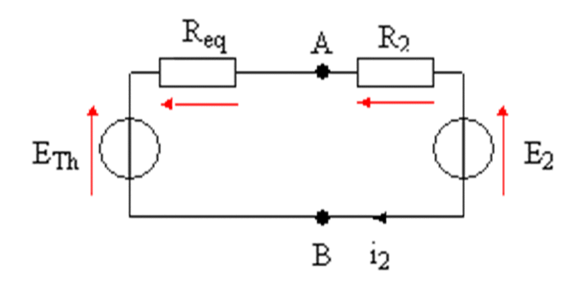
De façon à simplifier le calcul du courant i_2, nous avons déterminé un dipôle équivalent au dipôle constitué de E_1, R_1 et R_3. (Sans toucher à la branche qui contient i_2).



Dipôle équivalent de Thévenin E_{Th}, R_{eq}.

Avec : $E_{Th} = \frac{E_1.R_3}{R_1 + R_3}$ et $R_{eq} = \left(R_1^{-1} + R_3^{-1}\right)^{-1}$.

Pour appliquer la loi des mailles, il faut maintenant flècher (en couleur) les différents dipôles.



$E_1 = 10$ V, $E_2 = 5$ V

$R_1 = 15\ \Omega, R_2 = 10\ \Omega, R_3 = 5\ \Omega$

On en déduit : $E_{Th} - R_{eq}.i_2 - R_2.i_2 - E_2 = 0$

$$\Rightarrow i_2 = \frac{E_{Th} - E_2}{R_{eq} + R_2} = \frac{\frac{E_1.R_3}{R_1 + R_3} - E_2}{\left(R_1^{-1} + R_3^{-1}\right)^{-1} + R_2}$$

$$\Rightarrow i_2 = \frac{\frac{E_1.R_3}{R_1 + R_3} - E_2}{\frac{R_1.R_3}{R_1 + R_3} + R_2} = \frac{\frac{E_1.R_3 - E_2.(R_1 + R_3)}{R_1 + R_3}}{\frac{R_1.R_3 + R_1.R_2 + R_3.R_2}{R_1 + R_3}}$$

$$\Rightarrow i_2 = \frac{E_1.R_3 - E_2.(R_1 + R_3)}{R_1.R_3 + R_1.R_2 + R_3.R_2} = -0.182\ A$$

Comparer cette solution avec la résolution du même exercice effectuée précédemment par les lois de Kirchhoff.

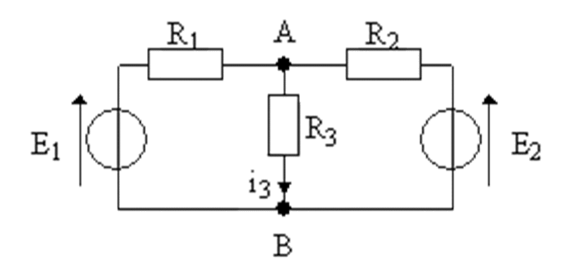
Le corrigé de cet exercice a pu paraître long, mais avec un peu d'entraînement, l'utilisation du Théorème de Thévenin permet, dans nombre de situations, de raccourcir sensiblement la démarche par rapport à la simple utilisation des lois de Kirchhoff .

Je dois maintenant être capable de prendre un papier et un crayon pour écrire la démarche de la loi des mailles, la relation du pont diviseur de tension et la définition de la tension équivalente de Thévenin et de la résistance équivalente.

Théorèmes de Thévenin et de Norton.

Objectif: *Mettre en œuvre les théorèmes de Thévenin et de Norton.*

. On veut exprimer i_3, en fonction de E_1, E_2,



R_1, R_2, et R_3.

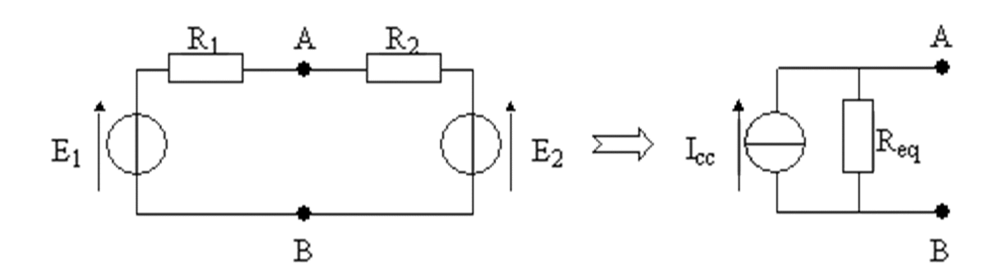
Pour ce faire, on peut remplacer tout le montage par un schéma équivalent plus simple, **sauf la branche qui contient i_3**.

Calculer le schéma équivalent de Norton du dipôle AB (constitué de E_1, E_2, R_1 et R_2).

$E_1 = 10$ V, $E_2 = 5$ V

$R_1 = 15\ \Omega, R_2 = 10\ \Omega, R_3 = 5\ \Omega$

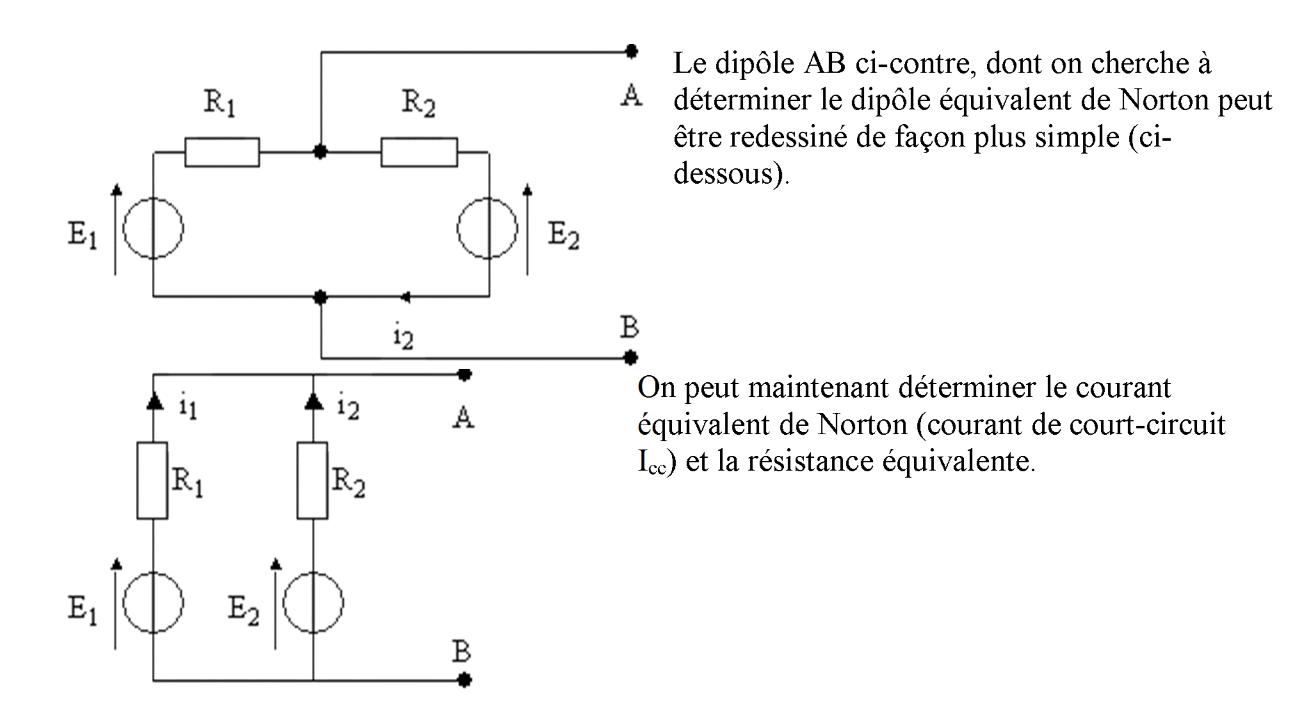
Aide :



Il est souvent utile d'isoler la partie de schéma qu'on veut remplacer par son « schéma équivalent de Norton » (Ici l'ensemble E_1, R_1 et E_2, R_2).

Il faut ensuite se rappeler des définitions du courant équivalent de Norton (I_{cc}) et de la résistance équivalente (R_{eq})

Corrigé :



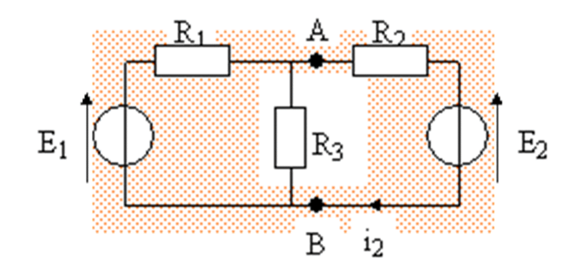
Le dipôle AB ci-contre, dont on cherche à déterminer le dipôle équivalent de Norton peut être redessiné de façon plus simple (ci-dessous).

On peut maintenant déterminer le courant équivalent de Norton (courant de court-circuit I_{cc}) et la résistance équivalente.

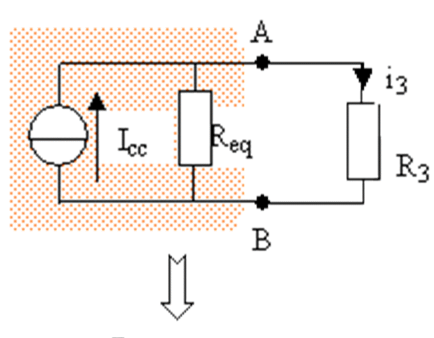
En déduire le schéma équivalent de Thévenin de ce dipôle.

En déduire la valeur de i_3.

Corrigé :

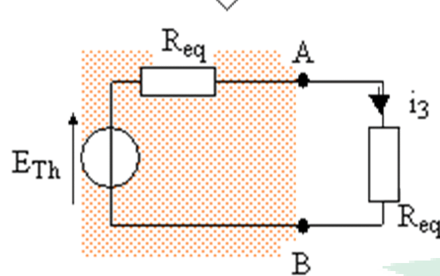


De façon à simplifier le calcul du courant i_3, nous avons déterminé un dipôle équivalent au dipôle constitué de E_1, R_1 et E_2, R_2. (Sans toucher à la branche qui contient i_3).



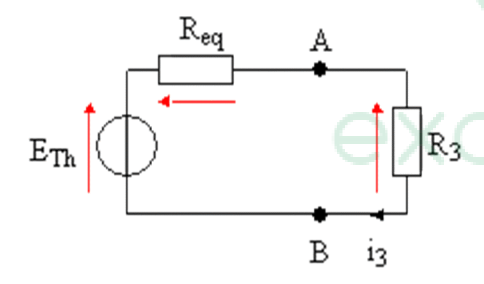
Le dipôle équivalent de Norton I_{cc}, R_{eq} peut maintenant être transformé en son équivalent de Thévenin.

$$\left.\begin{aligned} I_{cc} &= \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} \\ R_{eq} &= \left(R_1^{-1} + R_2^{-1}\right)^{-1} \end{aligned}\right\} \Rightarrow E_{Th} = R_{eq}.I_{cc}$$



$$\Rightarrow E_{Th} = \frac{R_1.R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{E_1.R_2 + E_2.R_1}{R_1.R_2} = \frac{E_1.R_2 + E_2.R_1}{R_1 + R_2}$$

Pour appliquer la loi des mailles (afin de calculer i_3), il faut maintenant flècher (en couleur) les différents dipôles.



$E_1 = 10$ V, $E_2 = 5$ V

$R_1 = 15\ \Omega, R_2 = 10\ \Omega, R_3 = 5\ \Omega$

On en déduit : $E_{Th} - R_{eq}.i_3 - R_3.i_3 = 0$

$$\Rightarrow i_3 = \frac{E_{Th}}{R_{eq} + R_3} = \frac{\dfrac{E_1.R_2 + E_2.R_1}{R_1 + R_2}}{\left(R_1^{-1} + R_2^{-1}\right)^{-1} + R_3}$$

$$\Rightarrow i_3 = \frac{\dfrac{E_1.R_2 + E_2.R_1}{R_1 + R_2}}{\dfrac{R_1.R_2}{R_1 + R_2} + R_3} = \frac{\dfrac{E_1.R_2 + E_2.R_1}{R_1 + R_2}}{\dfrac{R_1.R_2 + R_1.R_3 + R_2.R_3}{R_1 + R_2}}$$

$$\Rightarrow i_3 = \frac{E_1.R_2 + E_2.R_1}{R_1.R_2 + R_1.R_3 + R_2.R_3} = 0{,}636\ A$$

Comparer cette solution avec la résolution du même exercice effectuée précédemment par les lois de Kirchhoff.

Conclusion *:*

Le corrigé de cet exercice a pu paraître long, mais avec un peu d'entraînement, l'utilisation des Théorèmes de Thévenin et Norton permet, dans nombre de situations, de raccourcir sensiblement la démarche par rapport à la simple utilisation des lois de Kirchhoff .

Je dois maintenant être capable de prendre un papier et un crayon pour écrire la définition de la tension équivalente de Thévenin, du courant équivalent de Norton et de la résistance équivalente.

Je dois connaître la relation entre E_{eq}, R_{eq} et I_{cc}.

Théorème de superposition.

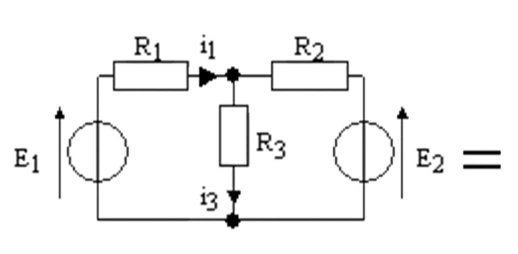
Objectif: *Mettre en œuvre le théorème de superposition. Appliquer la formule du pont diviseur de courant.*

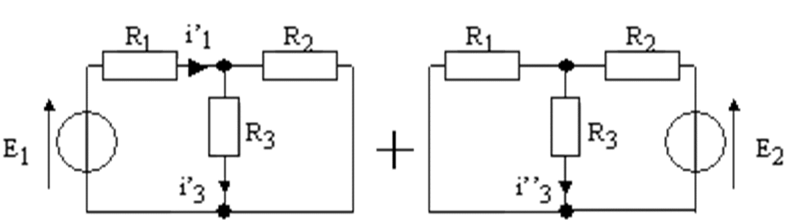
.

On veut exprimer i_3, en fonction de E_1, E_2, R_1, R_2, et R_3.

Pour ce faire, on peut appliquer le théorème de superposition :

Calculer i'_1.

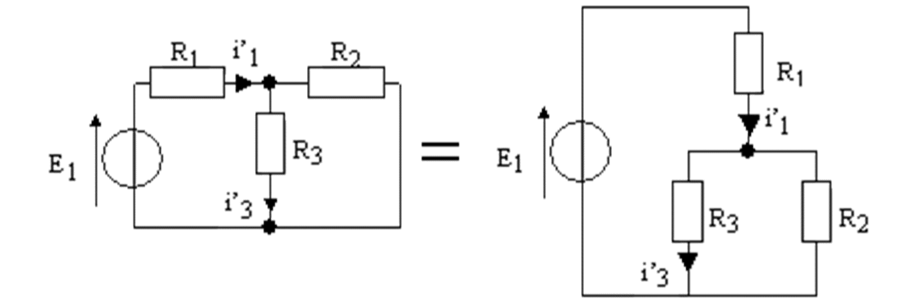




$E_1 = 10$ V, $E_2 = 5$ V

$R_1 = 15\ \Omega, R_2 = 10\ \Omega, R_3 = 5\ \Omega$

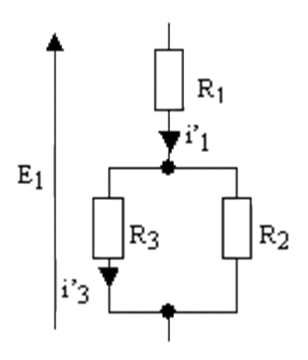
Aide :



Quand c'est possible, il est souvent plus visuel de disposer les résistances verticalement. (avec les flèches « courant » vers le bas et les flèches « tension » vers le haut).

En déduire i'_3 par la formule du pont diviseur de courant.

Corrigé :

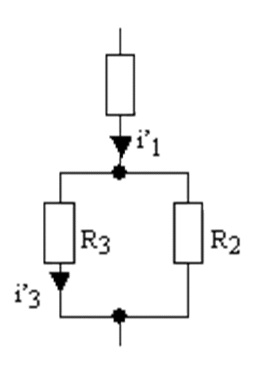


La loi d'Ohm permet de calculer i'_1.

$$i'_1 = \frac{E_1}{R_1 + \left(R_2^{-1} + R_3^{-1}\right)^{-1}} = \frac{E_1}{R_1 + \left(\frac{R_2 . R_3}{R_2 + R_3}\right)}$$

$$\Rightarrow i'_1 = \frac{E_1 .(R_2 + R_3)}{R_1 . R_2 + R_1 . R_3 + R_2 . R_3}$$

La formule du pont diviseur de courant permet d'en déduire i'_3.



$$i'_3 = \frac{i'_1 . R_2}{R_2 + R_3}$$

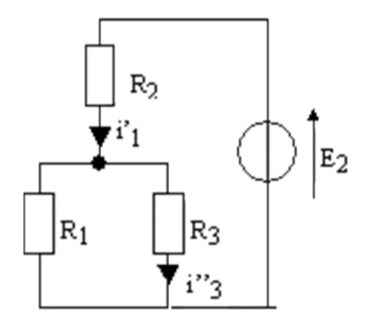
D'où l'expression de i'_3 en fonction de E_1 et des éléments du montage.

$$i'_3 = \frac{i'_1.R_2}{R_2 + R_3} = \frac{E_1.(R_2 + R_3)}{R_1.R_2 + R_1.R_3 + R_2.R_3} \cdot \frac{R_2}{(R_2 + R_3)}$$

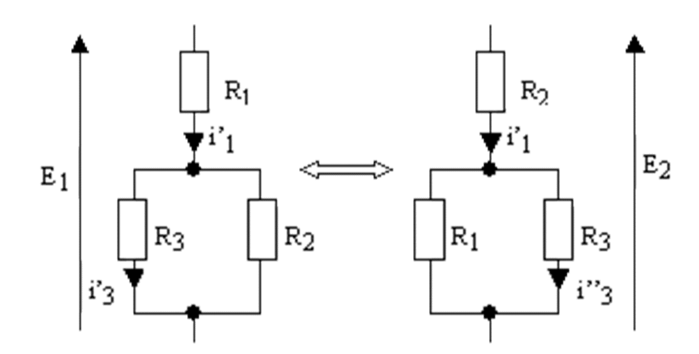
$$\Rightarrow i'_3 = \frac{E_1.R_2}{R_1.R_2 + R_1.R_3 + R_2.R_3}$$

Procéder de même pour calculer i''_3.

Corrigé :



On peut faire preuve d'un peu d'astuce en comparant les calculs de i'_3 et i''_3.



Si on compare les schémas de départ pour les calculs de i'_3 et i''_3, on constate des ressemblances qu'on peut utiliser pour obtenir directement l'expression de i''_3.

Les deux calculs sont identiques en utilisant les correspondances suivantes :

$$E_1 \leftrightarrow E_2$$

$$R_1 \leftrightarrow R_2$$

$$i'_3 \leftrightarrow i''_3$$

Sachant que $i'_3 = \frac{E_1.R_2}{R_1.R_2 + R_1.R_3 + R_2.R_3}$

On en déduit : $i''_3 = \frac{E_2.R_1}{R_1.R_2 + R_1.R_3 + R_2.R_3}$

En utilisant le théorème de superposition, en déduire la valeur de i_3.

Corrigé :

D’après le théorème de superposition :

$$i_3 = i'_3 + i''_3 = \frac{E_1.R_2}{R_1.R_2 + R_1.R_3 + R_2.R_3} + \frac{E_2.R_1}{R_1.R_2 + R_1.R_3 + R_2.R_3}$$

$$\Rightarrow i_3 = = \frac{E_1.R_2 + E_2.R_1}{R_1.R_2 + R_1.R_3 + R_2.R_3} = 0{,}636\ A$$

Conclusion :

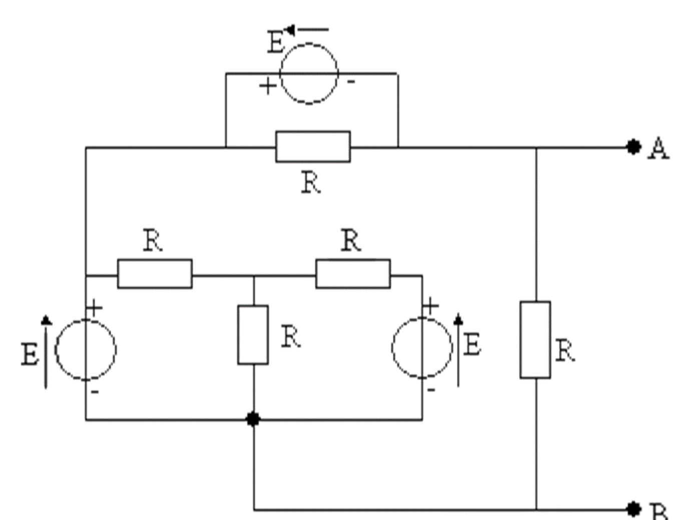
Nous venons de voir qu’en général, il n’existe pas une méthode unique pour calculer un circuit.

Le choix entre différentes méthodes est affaire d’intuition mais aussi d’entraînement, avec à la base une solide connaissance des lois de l’électricité.

En général, la précipitation est la plus mauvaise méthode.

Problème de méthode

Objectif: Cet exercice peut paraître compliqué et c’est volontaire. Il est destiné à mettre l’accent sur la nécessité d’avoir une approche méthodique.

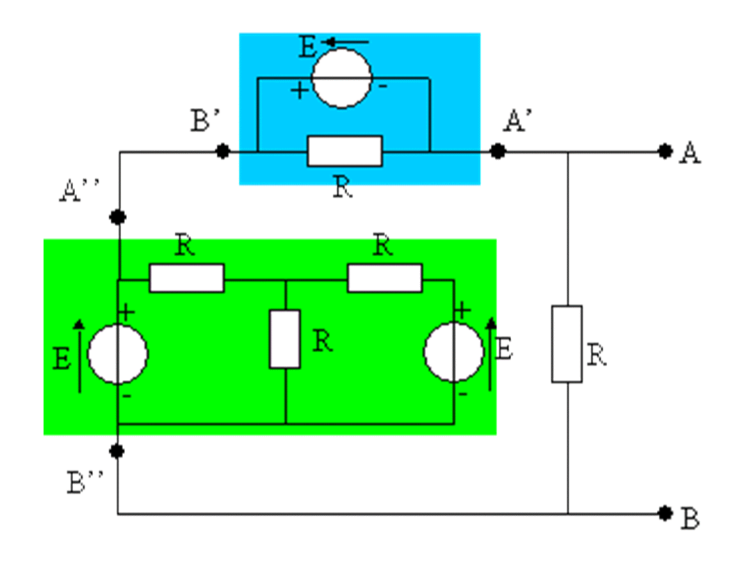


Pour le schéma ci-contre, déterminer par application du théorème de THEVENIN, le dipôle équivalent entre les bornes A et B.

Repérer les dipôles en série et les remplacer par leur schéma équivalent de Thévenin.

Le résultat demandé s’obtient alors sans aucun calcul …

Aide :



Les dipôles A’B’ et A’’B’’ sont en série ® Il faut donc les remplacer par leur schéma équivalent de Thévenin.

Corrigé :

$E_{eq} = E$

$R_{eq} = 0$

$E_{eq} = E$

$R_{eq} = 0$

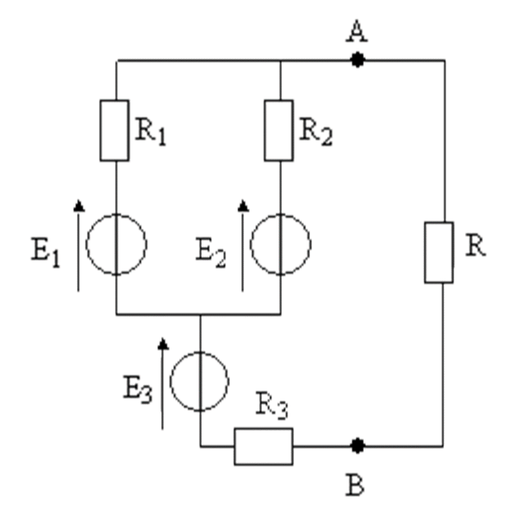
$E_{eq} = ($

$R_{eq} = ($

Le dipôle AB se comporte comme un simple conducteur !

Problème de méthode 2

Objectif : Utiliser la dualité Thévenin/Norton. Gagner en rapidité en utilisant directement des valeurs numériques.



On considère le réseau représenté par le schéma ci-contre:

En utilisant le théorème de Thévenin, calculer le courant dans la résistance R.

On donne:

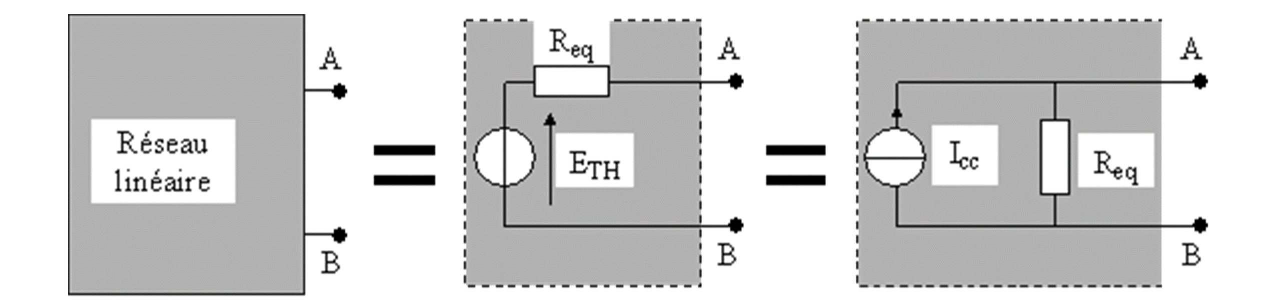
$E_1 = 3$ V. $R_1 = R_2 = R_3 = 2$.

$E_2 = 1$ V. $R = 5$.

$E_3 = 2$ V.

Rappel :

Tout dipôle linéaire peut être modélisé par un dipôle équivalent de Thévenin ou par un dipôle équivalent de Norton :



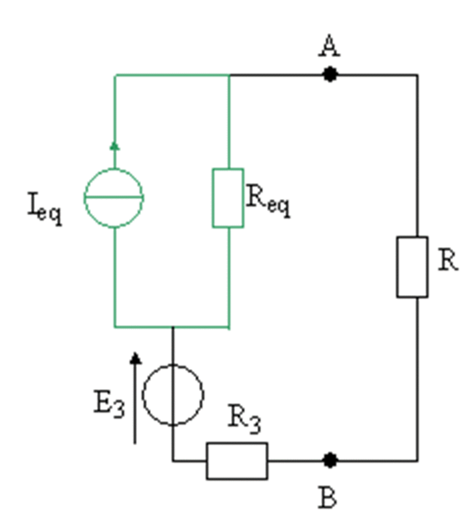
E_{TH} est la tension vue entre les deux bornes du dipôle est à vide. (réseau linéaire non relié à un autre réseau électrique).

I_{cc} est le courant de court-circuit entre les deux bornes de ce dipôle.

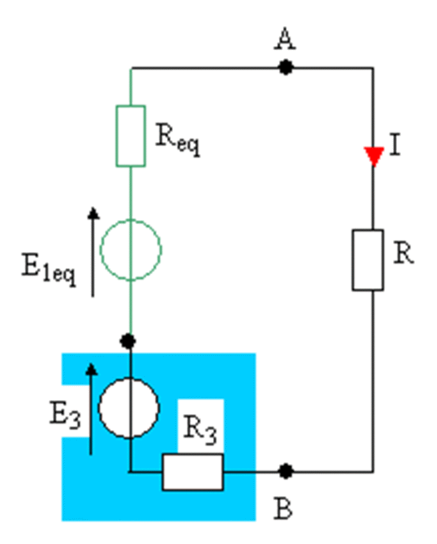
R_{eq} est la résistance vue entre les deux bornes du dipôle lorsque toutes les sources **indépendantes** sont remplacées par leur résistance interne.

Les modèles de Thévenin et de Norton sont reliés par la relation $I_{cc} = \dfrac{E_{TH}}{R_{eq}}$

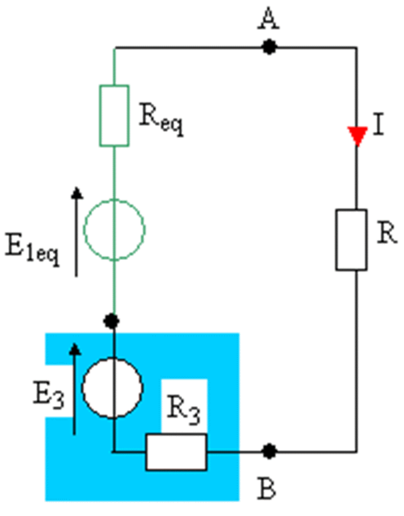
Aide :



Ces deux dipôles sont en parallèle ® Si on n'a pas d'idée plus astucieuse, on peut les remplacer par un dipôle équivalent de Norton



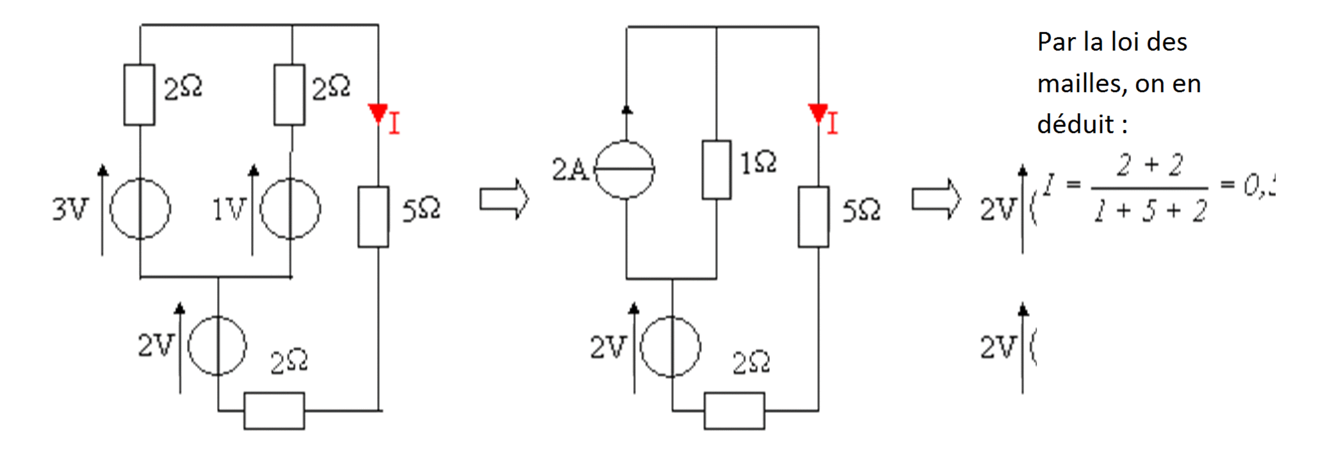
Ces deux dipôles sont en série ® Si on n'a pas d'idée plus astucieuse, on peut les remplacer par leur dipôles équivalents de Thévenin. Ensuite, on appliquera la loi des mailles pour calculer le courant I.



Ces deux dipôles sont en série ® Si on n'a pas d'idée plus astucieuse, on peut les remplacer par leur dipôles équivalents de Thévenin. Ensuite, on appliquera la loi des mailles pour calculer le courant I.

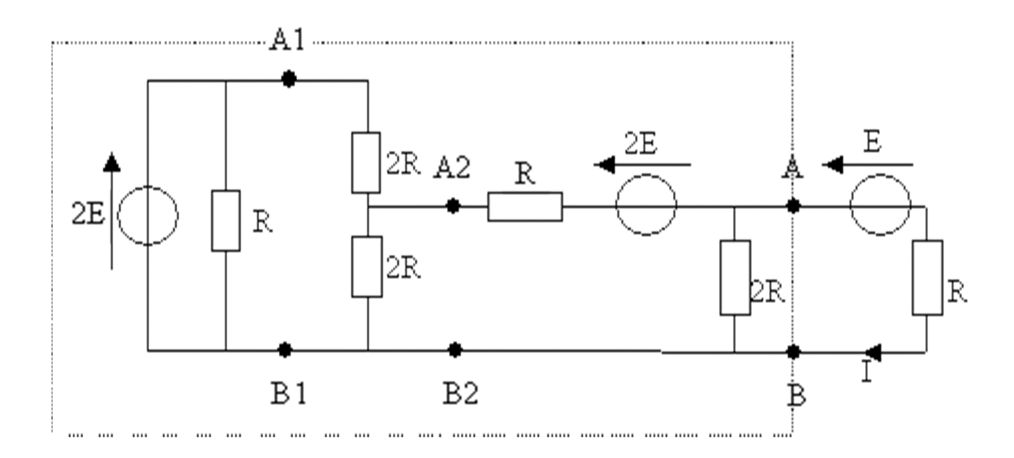
Corrigé :

Objectif : Utiliser la dualité Thévenin/Norton. Gagner en rapidité en utilisant directement des valeurs numériques.



Travail avec des schémas successifs

Objectif : Avancer en simplifiant le schéma de proche en proche. S'entraîner à manipuler les schémas électriques

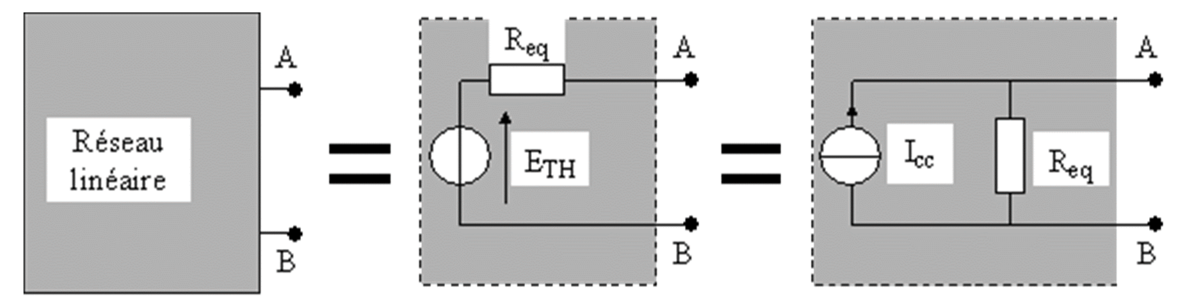


Par application du théorème de THEVENIN, calculer le modèle équivalent entre les bornes A et B à l'ensemble du réseau dont le schéma encadré est ci-contre. (Déterminer le schéma équivalent au dipôle à gauche de A1B1. Faire de même avec A2B2. Puis faire de même avec AB).

En déduire le courant I.

Rappel :

Tout dipôle linéaire peut être modélisé par un dipôle équivalent de Thévenin ou par un dipôle équivalent de Norton :



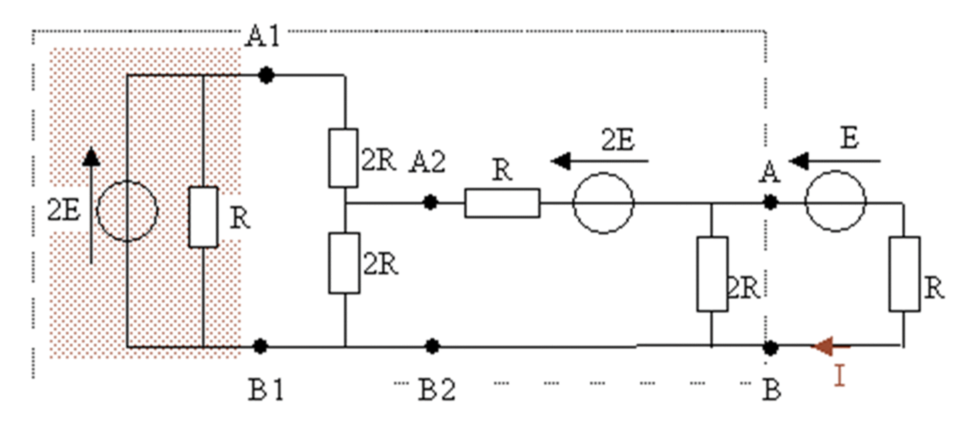
E_{TH} est la tension vue entre les deux bornes du dipôle est à vide. (réseau linéaire non relié à un autre réseau électrique).

I_{cc} est le courant de court-circuit entre les deux bornes de ce dipôle.

R_{eq} est la résistance vue entre les deux bornes du dipôle lorsque toutes les sources **indépendantes** sont remplacées par leur résistance interne.

Les modèles de Thévenin et de Norton sont reliés par la relation $I_{cc} = \frac{E_{TH}}{R_{eq}}$

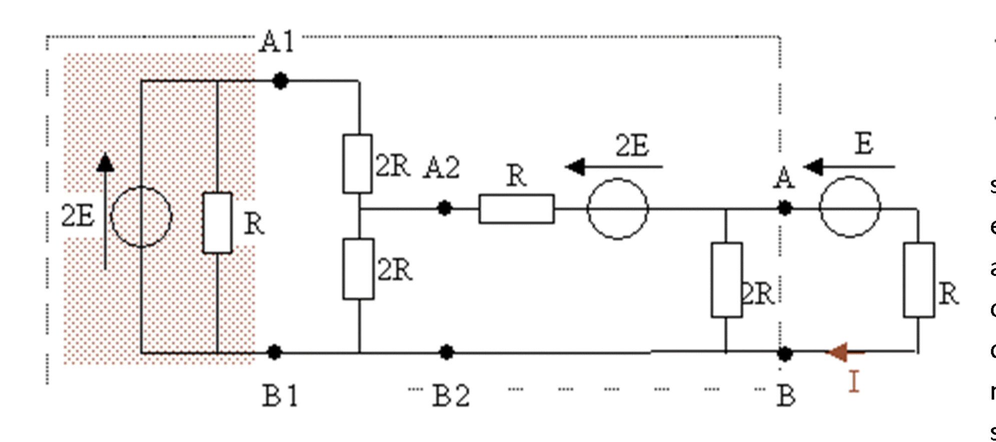
Aide :



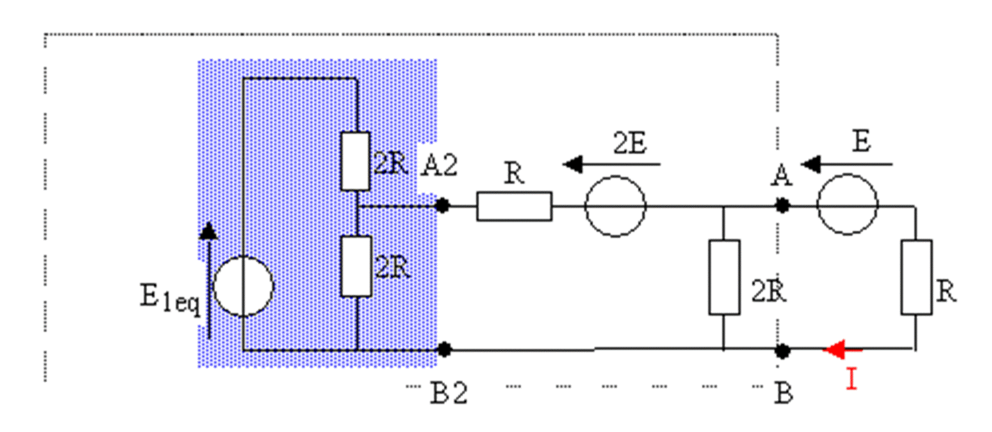
Faire autant de schémas que nécessaire en précisant l'expression des éléments à chaque étape.

Corrigé :

Objectif : Avancer en simplifiant le schéma de proche en proche. S'entraîner à manipuler les schémas électriques.

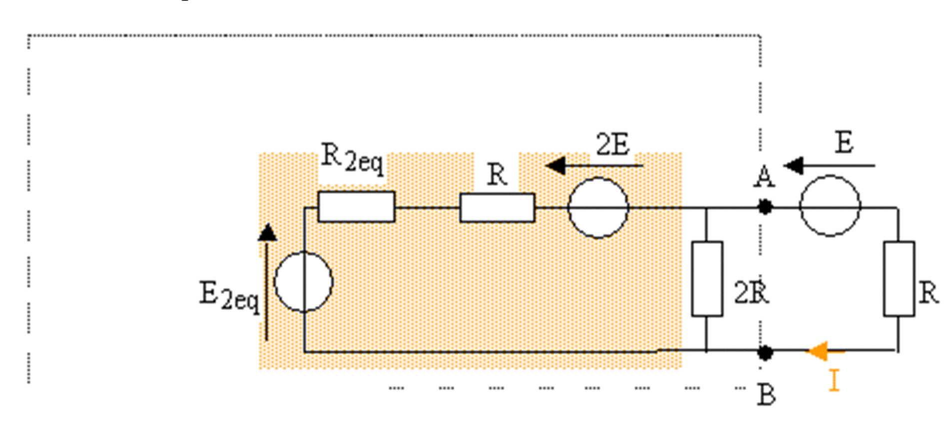


$E_{1eq} = 2.E$, $R_{1eq} = 0$. Une source de tension en parallèle avec un autre dipôle se comporte vis à vis du reste du montage comme la source de tension seule.



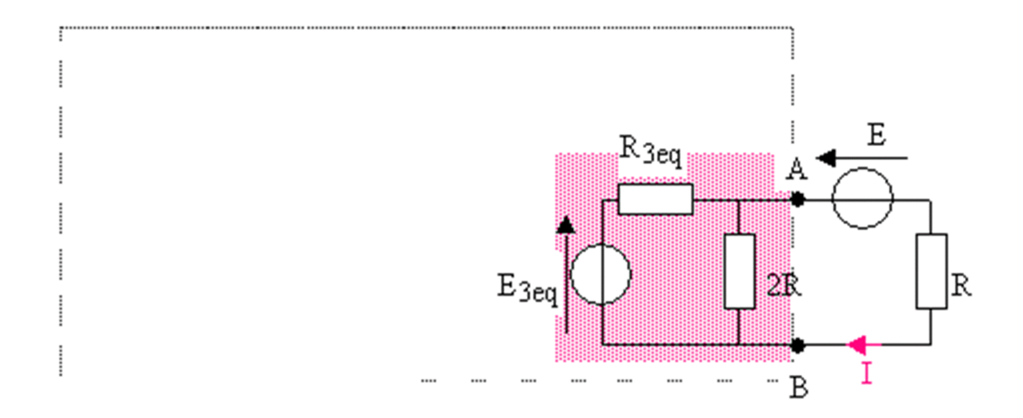
Par la formule du pont diviseur de tension, on en déduit : $E_{2eq} = \frac{E_{1eq}.R}{R+R} = \frac{2.E}{2} = E$.

La résistance « vue » entre les bornes A2/B2 est constituée de deux résistances identiques de valeur 2.R en parallèles $R_{2eq} = \frac{2.R}{2} = R$



$E_{3eq} = E_{2eq} - 2.E = E - 2E = -E$.

$R_{3eq} = R_{2eq} + R = 2.R$



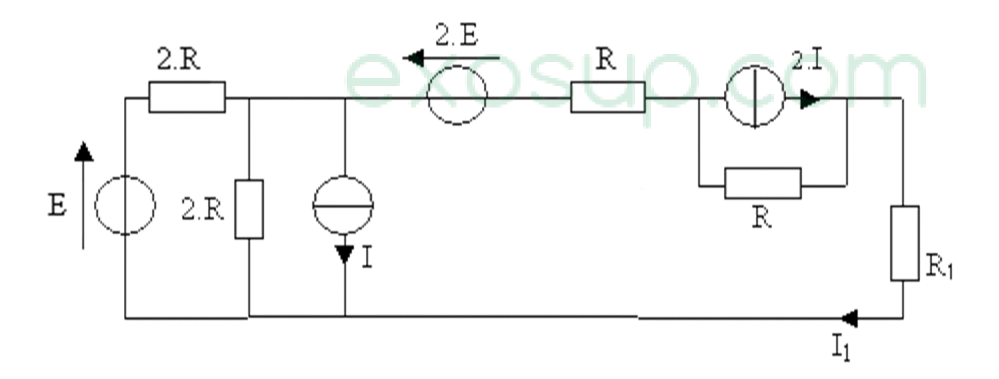
La résistance « vue » entre les bornes A/B est constituée d'une résistance $R_{3_{eq}} = 2.R$ en parallèle avec une résistance de valeur $2.R$ donc : $R_{4_{eq}} = \frac{2.R}{2} = R$

Formule du pont diviseur de tension : $E_{4_{eq}} = \frac{E_{3_{eq}}.2.R}{2.R + 2.R} = \frac{-E.2.R}{2.R + 2.R} = -\frac{E}{2}$

Loi des mailles : $-\frac{E}{2} - E = R.I + R.I \Rightarrow I = \frac{-\frac{E}{2} - E}{R + R} = \frac{-3.E}{4.R}$

Transformations Thévenin/Norton N°1

Objectif : Avancer en simplifiant le schéma de proche en proche en utilisant la dualité Thévenin/Norton. S'entraîner à manipuler les schémas électriques

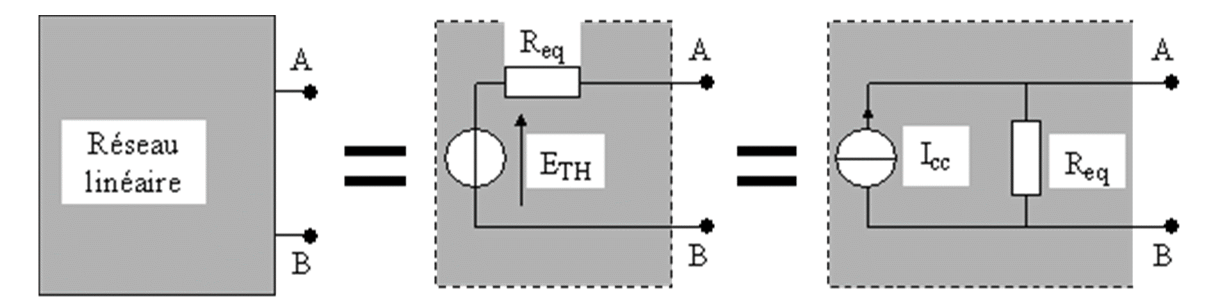


Calculer le courant dans la résistance R1 en fonction de E, I, R et R1.

Méthode : Pour simplifier les dipôles en parallèle, les mettre sous forme de schémas équivalents de Norton. Pour simplifier les dipôles en série, les mettre sous forme de schémas équivalents de Thévenin.

Rappel :

Tout dipôle linéaire peut être modélisé par un dipôle équivalent de Thévenin ou par un dipôle équivalent de Norton :



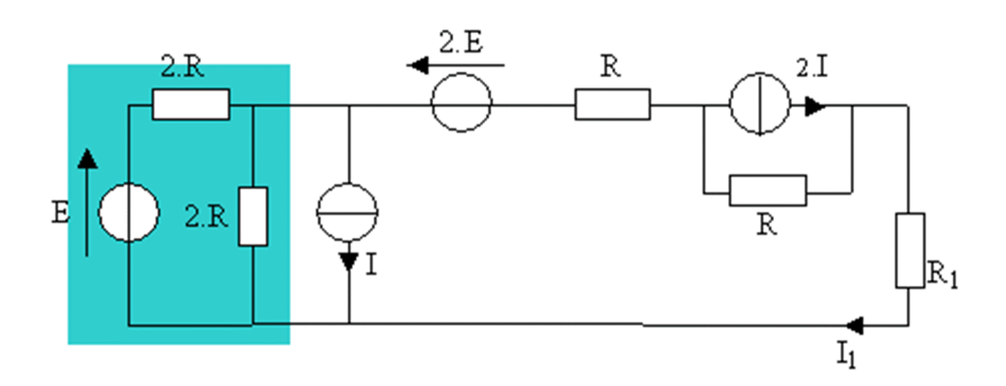
E_{TH} est la tension vue entre les deux bornes du dipôle est à vide. (réseau linéaire non relié à un autre réseau électrique).

I_{cc} est le courant de court-circuit entre les deux bornes de ce dipôle.

R_{eq} est la résistance vue entre les deux bornes du dipôle lorsque toutes les sources **indépendantes** sont remplacées par leur résistance interne.

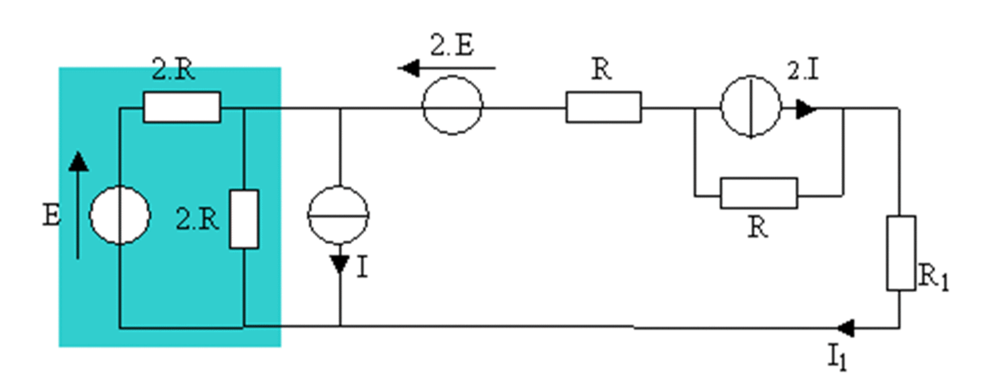
Les modèles de Thévenin et de Norton sont reliés par la relation $I_{cc} = \frac{E_{TH}}{R_{eq}}$

Aide :

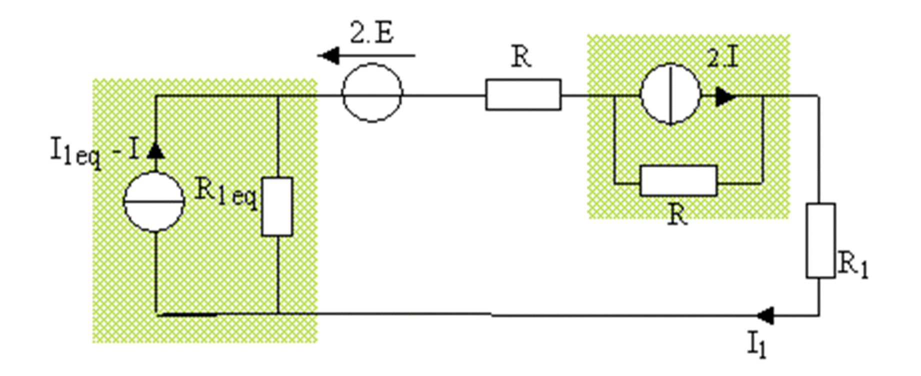


L'objectif est de remplacer certains dipôles par des équivalents de façon à parvenir à une maille unique. Ensuite, on appliquera la loi des mailles.

Corrigé :



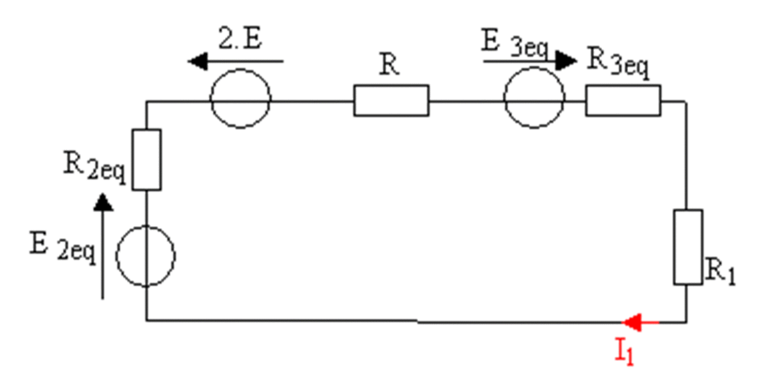
$I_{1eq} = \frac{E}{2.R}$, $R_{1eq} = \frac{2.R}{2}$. 'Deux résistances identiques en parallèle.



En utilisant la dualité Norton/Thévenin, on en déduit :

$E_{2_{eq}} = \left(I_{1_{eq}} - I\right).R_{1_{eq}} = \left(\frac{E}{2.R} - I\right).R = \frac{E}{2} - R.I$, avec $R_{2_{eq}} = R_{1_{eq}} = R$

et $E_{3_{eq}} = (2.I).R = 2.R.I$, avec $R_{3_{eq}} = R$



En appliquant la loi des mailles :

$$E_{2_{eq}} - R_{2_{eq}}.I_1 - 2.E - R.I_1 + E_{3_{eq}} - R_{3_{eq}}.I_1 - R_1.I_1 = 0$$

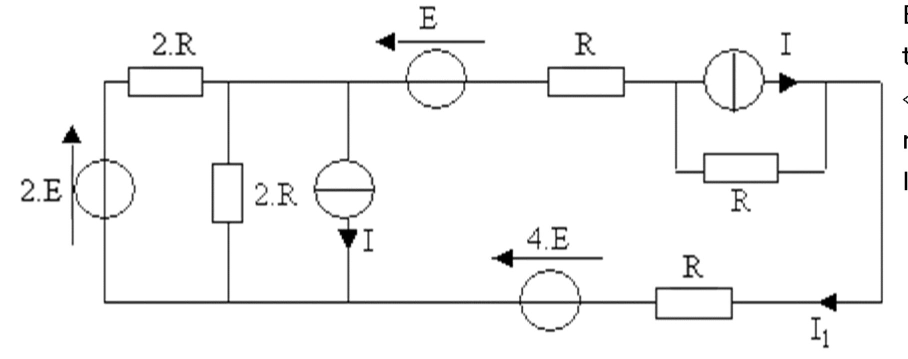
$$\Rightarrow \frac{E}{2} - R.I - R.I_1 - 2.E - R.I_1 + 2.R.I - R.I_1 - R_1.I_1 = 0$$

$$\Rightarrow \frac{E}{2} + R.I - 2.E = 3.R.I_1 + R_1.I_1$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{-\frac{3.E}{2} + R.I}{3.R + R_1} = \frac{-3.E + 2.R.I}{6.R + 2.R_1}$$

Transformations Thévenin / Norton N°2

Objectif : Avancer en simplifiant le schéma de proche en proche en utilisant la dualité Thévenin/Norton. S'entraîner à manipuler les schémas électriques



En appliquant la transformation THEVENIN ⇔ NORTON et une loi des mailles, calculer le courant I1 en fonction de E, I, R.

Corrigé :

Cet exercice est de même type que le précédent. Il fait appel aux même démarches.

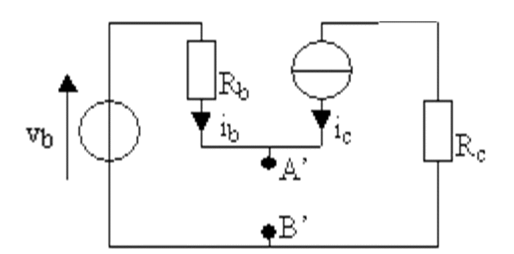
La réponse à la question posée est : $I_1 = \frac{E}{R}$.

Si je n'ai pas trouvé la bonne réponse :

- Ai-je réalisé des schémas propres ? (Les schémas tout gris et rabougris sont source d'erreur et de perte de temps…)
- Ai-je été vigilant en ce qui concerne l'orientation des grandeurs tensions et courants. Ai-je utilisé des couleurs vives pour représenter les flèches sur les schémas ? (Ce qui est gris sur la feuille est souvent gris » dans la tête…).
- Si je ne parviens pas à trouver la bonne réponse, revoir l'exercice précédent.

Source de courant commandée.

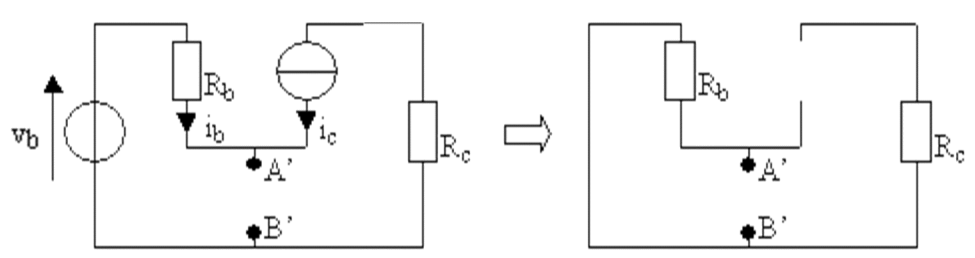
Objectif : Prendre conscience de l'importance du mot « indépendantes » dans l'expression sources de tension ou de courant INDEPENDANTES utilisée dans les théorèmes de superposition, Thévenin et Norton



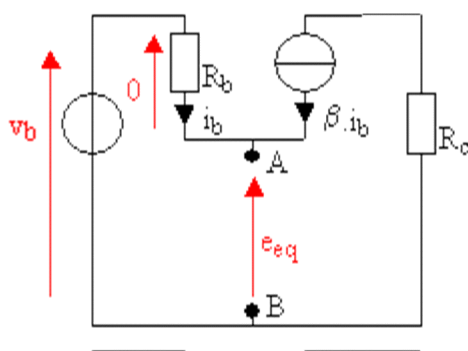
a) v_b et i_c sont des sources indépendantes (qui ne dépendent d'aucun élément du schéma).

Déterminer la résistance équivalente du dipôle A'B' ci-contre.

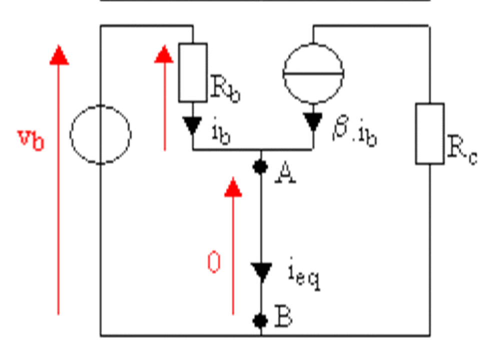
Corrigé :



La résistance « vue » entre les bornes du dipôle A'B' lorsque toutes les sources indépendantes sont remplacées par leur résistance interne est R_b.



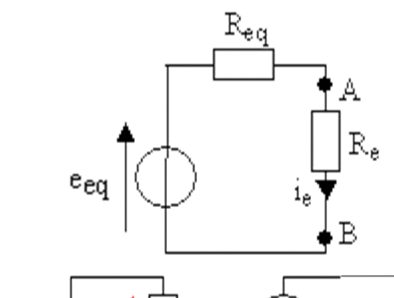
$$i_b + \beta.i_b = 0 \Rightarrow i_b = 0 \quad e_{eq} = v_b$$



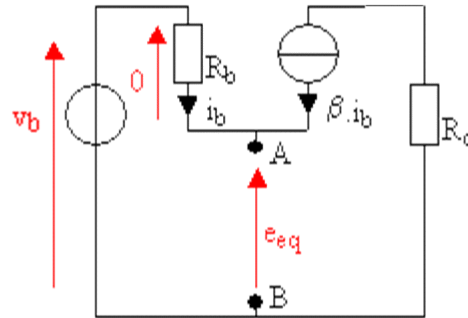
$$i_b = \frac{v_b}{R_b} \Rightarrow i_{eq} = i_b + \beta.i_b = \frac{v_b}{R_b}.(\beta + 1)$$

$$R_{eq} = \frac{e_{eq}}{i_{eq}} = \frac{R_b}{(\beta + 1)}$$

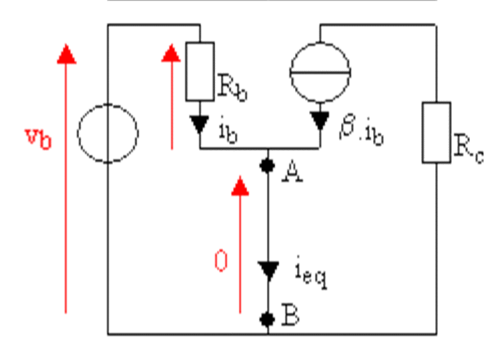
Cette résistance équivalent est différente de celle du dipôle A'B' car la source de courant $\beta.i_b$ n'est pas indépendante.



$$i_e = \frac{e_{eq}}{R_{eq} + R_e} = \frac{v_b}{\frac{R_b}{\beta + 1} + R_e} = \frac{v_b.(\beta + 1)}{R_b + R_e.(\beta + 1)}$$



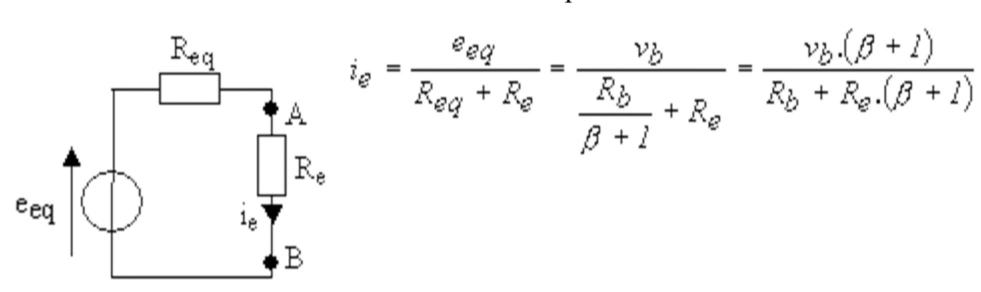
$$i_b + \beta.i_b = 0 \Rightarrow i_b = 0 \quad e_{eq} = v_b$$



$$i_b = \frac{v_b}{R_b} \Rightarrow i_{eq} = i_b + \beta.i_b = \frac{v_b}{R_b}.(\beta + 1)$$

$$R_{eq} = \frac{e_{eq}}{i_{eq}} = \frac{R_b}{(\beta + 1)}$$

Cette résistance équivalent est différente de celle du dipôle A'B' car la source de courant $\beta.i_b$ n'est pas indépendante.



$$i_e = \frac{e_{eq}}{R_{eq} + R_e} = \frac{v_b}{\frac{R_b}{\beta + 1} + R_e} = \frac{v_b.(\beta + 1)}{R_b + R_e.(\beta + 1)}$$

b) Le coefficient β est constant.

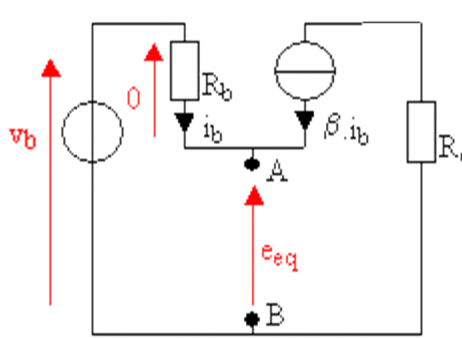
Attention la source de courant $\beta.i_b$ est linéairement dépendante !

Calculer la tension équivalente de Thévenin et le courant équivalent de Norton du dipôle AB ci-contre (ensemble du montage sauf R_e).

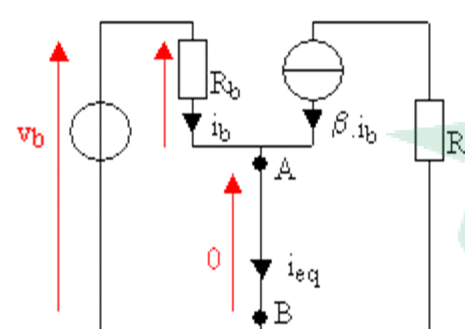
En déduire la résistance équivalente du dipôle AB. Pourquoi est-elle différente de celle du dipôle A'B' ?

En utilisant le modèle équivalent de Thévenin du dipôle AB, Exprimer i_e en fonction de v_b , R_b, R_e et β .

Corrigé :



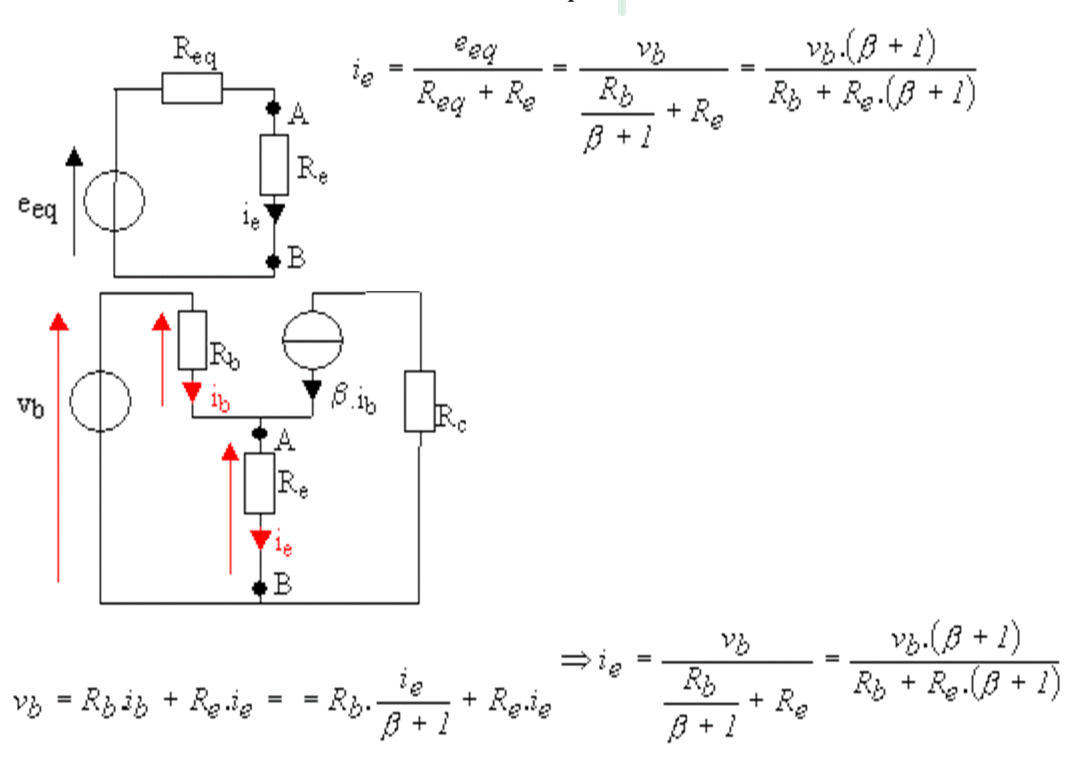
$$i_b + \beta.i_b = 0 \Rightarrow i_b = 0 \quad e_{eq} = v_b$$



$$i_b = \frac{v_b}{R_b} \Rightarrow i_{eq} = i_b + \beta.i_b = \frac{v_b}{R_b}.(\beta + 1)$$

$$R_{eq} = \frac{e_{eq}}{i_{eq}} = \frac{R_b}{(\beta + 1)}$$

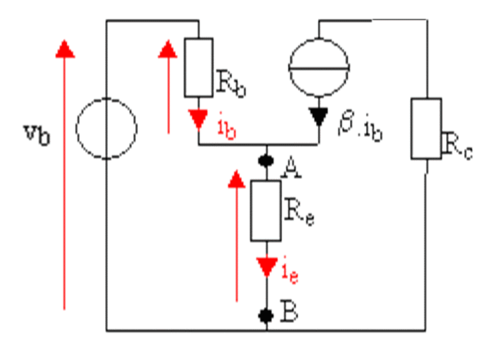
Cette résistance équivalent est différente de celle du dipôle A'B' car la source de courant $\beta.i_b$ n'est pas indépendante.



$$i_e = \frac{e_{eq}}{R_{eq} + R_e} = \frac{v_b}{\frac{R_b}{\beta + 1} + R_e} = \frac{v_b.(\beta + 1)}{R_b + R_e.(\beta + 1)}$$

$$v_b = R_b.i_b + R_e.i_e = = R_b.\frac{i_e}{\beta + 1} + R_e.i_e \Rightarrow i_e = \frac{v_b}{\frac{R_b}{\beta + 1} + R_e} = \frac{v_b.(\beta + 1)}{R_b + R_e.(\beta + 1)}$$

Retrouver ce résultat en appliquant la loi des mailles.



$$v_b = R_b.i_b + R_e.i_e = \quad = R_b.\frac{i_e}{\beta + 1} + R_e.i_e \Rightarrow i_e = \frac{v_b}{\frac{R_b}{\beta + 1} + R_e} = \frac{v_b.(\beta + 1)}{R_b + R_e.(\beta + 1)}$$